

## RESISTENCIA DE *Fimbristylis littoralis* Gaudich A IMAZAPIR+IMAZETAPIR Y SU CONTROL CON OTROS HERBICIDAS EN EL CULTIVO DE ARROZ

Aída Ortiz<sup>1</sup>, Pedro Pérez<sup>1</sup>, Alvaro Anzalone<sup>2</sup>, Castor Zambrano<sup>1</sup>, Sandra Torres<sup>1</sup>, Yinerby Quintana<sup>1</sup>, Aída López<sup>1</sup>, Luis López<sup>1</sup> y Albert Fischer<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Fimbristylis littoralis* Gaudich es una maleza que ha evolucionado resistencia a pirazosulfurón-etilo (inhibidor de la enzima acetolactato sintasa, ALS) en siembras de arroz en el estado Guárico, Venezuela. Con el objetivo de evaluar la resistencia de *F. littoralis* a otros herbicidas inhibidores de ALS (imazapir + imazetapir) que se utilizan en el sistema Clearfield para el control de las malezas del género *Oryza* (arroz-maleza) en otros países, se estableció un experimento de respuesta a dosis de esta mezcla de herbicidas. En otro experimento, se estudió el control de accesiones de *F. littoralis* tanto susceptibles (S) como resistentes (R) a otros herbicidas. En el primer experimento se aplicaron las dosis crecientes de imazapir + imazetapir desde 0 hasta 4,81+14,44 g·ha<sup>-1</sup> i.a. en la accesión FM58G (S) y desde 0 hasta 308+924 g·ha<sup>-1</sup> i.a., en la FM9G (R). En el segundo se las trató con 25, 40, 154, 60, 1200, 1200+150, 40 y 540 g·ha<sup>-1</sup> i.a. de: pirazosulfurón-etilo, bispiribac-sodio, imazapir+imazetapir, penoxsulam, bentazón, bentazón+MCPA, carfentrazone-etilo y 2,4 D-Amina, respectivamente. Se comprobó que la accesión FM9G, resistente a pirazosulfurón-etilo (sulfonilurea), ha evolucionado también resistencia a la mezcla de herbicidas imidazolinona imazapir+imazetapir así como al bispiribac-sodio (pirimidinil tiobenzoato). Ambos biotipos, R y S no fueron controlados con penoxsulam pero si se logró su eficaz control con bentazón, bentazón+MCPA, carfentrazone-etilo y 2,4 D-Amina. Las resistencias observadas reflejan el intenso uso de herbicidas inhibidores de la ALS e indican que la tecnología Clearfield en Venezuela corre el riesgo de ser poco eficaz para otras malezas diferentes al arroz-maleza.

**Palabras clave adicionales:** Imidazolinonas, inhibidor de ALS, resistencia a herbicida

### ABSTRACT

#### Resistance and herbicide control of imazapir+imazetapir-resistant fimbry (*Fimbristylis littoralis* Gaudich.) in rice

The grass-like weed fimbry [*Fimbristylis littoralis* Gaudich] has evolved resistant to pyrazosulfuron-ethyl (sulfonylurea herbicide inhibitor of the enzyme acetolactate synthase, ALS) in rice crops of Guárico, Venezuela. The resistance of *F. littoralis* to other ALS-inhibiting herbicides (imazapyr+imazethapyr) currently used in the Clearfield System to control weedy rice in other countries was assessed using a dose response experiment. Also, responses to alternative herbicides to control this weed were explored. For the dose response experiment, the accessions FM58G (susceptible, S) and FM9G (resistant, R) were treated with increasing doses of imazapyr + imazethapyr from 0 to 4.81+14.44 g·ha<sup>-1</sup> a.i. and 0 to 308+924 g·ha<sup>-1</sup> a.i., respectively. In the other experiment, the R y S accessions were treated with 25, 40, 154, 60, 1200, 1200+150, 40 y 540 g·ha<sup>-1</sup> a.i. of: pyrazosulfuron-ethyl, bispiribac-sodium, imazapyr+imazethapyr, penoxsulam, bentazona, bentazona+MCPA, carfentrazone-ethyl y 2,4 D-amine, respectively. We proved that the accession FM9G, resistant to pyrazosulfuron-ethyl, has also evolved resistance to imazapyr + imazethapyr (imidazolinone) and to bispiribac-sodium (pyrimidinyl thiobenzoate). Both, R and S plants were not controlled by penoxsulam, but they were effectively controlled with bentazon, bentazon+MCPA, carfentrazone-ethyl and 2,4 D-Amine herbicides. The resistance patterns observed reflects the intensive use of ALS-inhibiting herbicides in Venezuelan rice, and may indicate that success of Clearfield system in Venezuela may be compromised when applied to weeds different to the weedy rice.

**Additional keywords:** ALS inhibitor, herbicide resistance, imidazolinone

Recibido: Febrero 29, 2016

Aceptado: Octubre 20, 2016

<sup>1</sup> Lab. de Malezas, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay CP 2101, Venezuela. e-mail: aida.ortiz@ucv.ve ; aidaortiz@gmail.com

<sup>2</sup> Dpto. de Fitotecnia, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela

<sup>3</sup> Department of Plant Science, University of California. Davis, CA, USA

## INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el segundo cultivo de mayor importancia en Venezuela, después del maíz (FEDEAGRO, 2016). Existen fincas en Calabozo, estado Guárico donde se cosechan de 10 a 13 t·ha<sup>-1</sup> en la época de sequía, producto de la adopción de variedades de alto rendimiento y la mejora en el manejo agronómico del cultivo.

Las fallas en el control de malezas es una de las principales causas de pérdidas en el rendimiento de los cultivos. El uso de herbicidas es el método más usado en el control de malezas; no obstante, la creciente incidencia de malezas resistentes a herbicidas produce pérdidas cuantiosas y compromete la sostenibilidad de los sistemas de producción de arroz en el mundo. En la actualidad, hay más de 471 biotipos de malezas resistentes a los herbicidas en todo el mundo, en al menos 250 especies de malezas (Heap, 2016). En Venezuela, hay 8 especies resistentes a los herbicidas registrados; 6 de ellas muestran resistencia a herbicidas inhibidores de ALS utilizados en arroz y maíz (Heap, 2016). Los inhibidores de ALS son uno de los grupos de herbicidas más utilizados en el cultivo de arroz en Venezuela (Ortiz et al., 2015). Estos herbicidas se comenzaron a usar en 1982, se utilizan a dosis bajas, son altamente selectivos para los cultivos, tienen un amplio espectro de control de malezas, baja carga ambiental y baja toxicidad en mamíferos (Mazur y Falco, 1989).

La maleza conocida como pelo de indio (*F. littoralis*) es una ciperácea anual con metabolismo C<sub>4</sub> (Ibrahim et al., 2009), adaptada al sistema de siembra del cultivo de arroz (Rao et al., 2007), por lo que se encuentra entre las diez malezas de importancia económica en el sur de Asia (Moody, 1989; Juraimi et al., 2010), América Latina y el Caribe (Rao et al., 2007). La falta de control de *F. littoralis* podría llegar a ocasionar pérdidas de rendimiento de hasta 42 % (Juraimi et al., 2009). Asimismo, altas densidades de *F. littoralis* a lo largo del ciclo del cultivo del arroz causan problemas durante la cosecha (Schaedler et al., 2013a).

El control selectivo de *F. littoralis* en el cultivo de arroz se puede lograr con herbicidas incluyendo inhibidores de la ALS. La inhibición de la enzima ALS es el mecanismo de acción de

cinco clases de herbicidas, sulfonilureas (SU), imidazolinonas (IMI), triazolopirimidinas (TP), pirimidinil tiobenzoatos (PTB) y sulfonilamino-carbonil-triazolinonas (SCT) (Devine et al., 1993). En Venezuela se recomiendan dos clases de inhibidores de ALS para el arroz de riego SU y TP. En otros países también se usa IMI sólo en el sistema Clearfield con cultivares de arroz resistente a esta clase de herbicidas para el control de las malezas pertenecientes al género *Oryza* (Delouche et al., 2007).

El herbicida conocido como Lightning es una mezcla de 52,5 % de imazetapir y 17,5 % de imazapir, pertenecientes a la clase IMI (BASF, 2014a) que inhiben la enzima acetolactato sintetasa (ALS) o acetohidroxiácido sintetasa (AHAS, EC 2.2.1.6), lo que altera la biosíntesis de los aminoácidos de cadena ramificada, valina, leucina e isoleucina (Devine et al., 1993). Imazapir e imazetapir no son selectivos al arroz a menos que sean usados con cultivares Clearfield, son herbicidas de amplio espectro que controlan la mayoría de las gramíneas anuales o perennes y malezas de hoja ancha, pueden ser aplicados en preemergencia o postemergencia de las malezas y poseen actividad residual en el suelo (Shaner y O'Connor, 1991). Los herbicidas IMI (mezcla de 52 % imazapir + 17,5 % imazapic) que se usan en la tecnología Clearfield, aparte de ser usados para el control pre y postemergente de arroz-maleza, también se recomiendan para ciperáceas como *Cyperus iria*, *C. odoratus* y *C. esculentus* (BASF, 2014b).

*F. littoralis* ha evolucionado resistencia a 2,4-D en Malasia (Watanabe et al., 1997) y en Santa Catarina, Brasil a herbicidas inhibidores de ALS pirazosulfurón-etilo (SU), penoxsulam (TP), bispiribac-sodio (PTB) y etoxisulfurón (SU) (Schaedler et al., 2013a). El control de *F. littoralis* resistente a pirazosulfurón-etilo fue eficaz con propanil, bentazón y triclopir (Noldin et al., 2005).

En fincas productoras de arroz en el estado Guárico, Ortiz et al. (2012) encontraron que *F. littoralis* ha evolucionado resistencia al herbicida pirazosulfurón etilo (SU), inhibidor de la enzima ALS. Dado que el mecanismo de resistencia de esta especie es por sitio de acción, es importante evaluar el patrón de resistencia con otros inhibidores de ALS tales como herbicidas pertenecientes a las clases SU, IMI y TP. Por lo tanto, este experimento tuvo como objetivo evaluar la resistencia de *F.*

*littoralis* a imazapir+imazetapir y su control con otros herbicidas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el 2008 se recolectaron aproximadamente 300 g de núculas de cada una de dos accesiones de *F. littoralis*, FM9G (R) y FM58G (S), resistente (R) y susceptible (S), respectivamente, a pirazosulfurón-etilo, provenientes de dos fincas del estado Guárico, Venezuela, con coordenadas de 8° 47' N; 67° 32' W y 8° 54' N; 67° 32' W. Las núculas se almacenaron a 4 °C y 65 % de humedad relativa para preservar su viabilidad. En el 2013, se realizaron dos tipos de experimentos en plantas completas: uno de respuesta a dosis para confirmar y cuantificar la resistencia de la maleza *F. littoralis* a imazapir+imazetapir y un segundo sobre control químico de las dos accesiones de *F. littoralis*.

**Experimento de respuesta a dosis.** Se comparó la respuesta de ambas accesiones a dosis crecientes de imazapir+imazetapir para estimar la dosis de efecto medio ( $ED_{50}$ , dosis en la cual se reduce el crecimiento de plantas tratadas a un 50 % respecto a plantas no tratadas) y calcular el índice de resistencia ( $ED_{50R}/ED_{50S}$ ). Las núculas de cada accesión se colocaron directamente sobre la superficie de 500 g de suelo (textura franca y pH 6,54) contenido en potes. Después de la emergencia, se raleó a cuatro plántulas iguales, espaciadas equidistantemente. Los potes se ubicaron en una piscina con lámina de agua constante de 10 cm de alto, la cual no sobrepasaba la superficie del suelo en los potes, manteniendo el suelo saturado.

La composición de la mezcla de los herbicidas utilizada fue de 17,5 % imazapir y 52,5 % imazetapir (Lightning), y se aplicó a la accesión FM9G (R): 0; 4,81+14,44; 9,63+28,88; 19,25+57,75; 38,50+115,50; 77+231; 154+462; 308+924 g·ha<sup>-1</sup> i.a., mientras que para la FM58G (S) se usaron: 0; 0,08+0,23; 0,15+0,45; 0,30+0,90; 0,60+1,80; 1,20+3,61; 2,41+7,22 y 4,81+14,44 g·ha<sup>-1</sup> i.a. Los tratamientos (combinación de accesión x dosis de herbicida) se ubicaron bajo un diseño completamente aleatorizado y se replicaron cinco veces; el experimento se repitió para su validación. Las aplicaciones se efectuaron sobre plantas en el estado de cinco hojas y aproximadamente 2 a 3 cm de altura. El herbicida

se aplicó utilizando una aspersora de cámara con una descarga de 180 L·ha<sup>-1</sup> a 250 kPa y una boquilla de abanico plano 8002E. A la solución con herbicida se le añadió un surfactante no iónico (Surfax) a razón de 800 µL·L<sup>-1</sup>.

Luego de 72 horas de la aplicación del herbicida, las plantas se fertilizaron con Energy, un fertilizante de fórmula completa más micronutrientes, con dosis de 50 mL en 10 L de agua.

A los 21 días después de la aplicación (DDA) del herbicida se cosechó la parte aérea de las plantas en cada pote y se midió el peso fresco inmediatamente después de cortar. Los datos de peso fresco se expresaron como porcentaje de crecimiento (peso fresco del tratamiento con herbicida expresado como porcentaje del promedio del tratamiento control sin herbicida).

**Experimento sobre control químico.** Este experimento se realizó con las mismas accesiones de *F. littoralis* del experimento anterior, FM9G y FM58G, recolectadas en el país (el sufijo G en la denominación de las accesiones, corresponden a Guárico).

Se trataron plántulas de estas dos accesiones en el estado de cinco hojas (2 a 3 cm de altura) con los herbicidas cuyas características se muestran en el Cuadro 1. Se usaron los surfactantes no iónicos Agrotin (2500 µL·L<sup>-1</sup>), Break Thru (5 µL en 200 mL) y Surfax (800 µL·L<sup>-1</sup>) para los herbicidas pirazosulfurón-etilo, bispiribac-sodio e imazapir + imazetapir, respectivamente. Se contó con un tratamiento testigo sin herbicida. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con diez repeticiones. Tanto la aplicación del herbicida, las condiciones de crecimiento y la cosecha se realizaron como en el experimento anterior. Los datos de peso fresco se expresaron como porcentaje de control respecto al promedio del testigo sin herbicida.

**Análisis estadístico.** Los datos de respuesta a dosis provenientes de experimentos repetidos se juntaron para su análisis al no detectarse interacción ( $P > 0,05$ ) entre experimentos y tratamientos, y se sometieron al análisis de regresión adoptando los modelos de mejor ajuste que describieron adecuadamente las tendencias y minimizaban el cuadrado medio del error.

En el caso de la accesión susceptible FM58G, se ajustó un modelo de regresión no lineal log-logístico (Streibig et al., 1993; Seefeldt et al.,

1994) a la respuesta de plantas enteras a dosis de herbicida:  $Y = c + (d - c) / [1 + (x / ED_{50})]^b$ , donde  $Y$  es el porcentaje de crecimiento,  $c$  es la respuesta media a la dosis de herbicida más alta,  $d$  es la respuesta media cuando la dosis de herbicida tiende a cero,  $b$  es la pendiente de la curva,  $ED_{50}$  es la dosis de herbicida en el punto de inflexión entre  $c$  y  $d$ , y  $x$  es la dosis de herbicida. El índice de resistencia fue determinado dividiendo el  $ED_{50}$  del FM9G (R) entre el de FM58G (S). Este modelo log-logístico no brindó buen ajuste para los datos de la accesión resistente FM9G, para el cual se utilizó un modelo lineal:  $Y = a + bx$ , donde  $a$  y  $b$  son coeficientes de regresión calculados. El análisis de regresión se realizó utilizando el programa Sigma Plot v. 12 (2014).

Los datos del experimento sobre control químico se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias según Tukey. La distribución normal de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza con la prueba de Bartlett.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Respuesta a dosis.** La dosis de herbicida requerida para inhibir el 50 % del crecimiento ( $ED_{50}$ ) de *F. littoralis* en el experimento de respuesta a dosis y los parámetros de las ecuaciones usados para estimar esta dosis se presentan en el Cuadro 2. Se comprobó que la accesión FM9G es resistente a imazapir+imazetapir dado que ni aun a dosis ocho veces superior a la comercial se consiguió reducir apreciablemente su crecimiento y sus datos no se ajustaron a una sigmoide decreciente (Figura 1).

Asimismo, no fue posible estimar su  $ED_{50}$  ya que cae fuera del rango de dosis estudiadas por lo que el IR correspondiente no puede ser calculado y tiende a valores muy elevados (Cuadro 2). Por otra parte, con una dosis de tan sólo 19,25 g·ha<sup>-1</sup> i.a., se suprimió completamente el crecimiento de plantas de la accesión susceptible (FM58G) (Figura 1).

**Control químico.** Pirazosulfurón-etilo (SU), bispiribac-sodio (PTB) e imazapir+imazetapir (IMI) no controlaron a la accesión FM9G pero sí controlaron la accesión FM58G (Cuadro 3), lo que indica que la accesión FM9G de *F. littoralis* ha evolucionado resistencia cruzada a herbicidas de tres familias químicas de los inhibidores de ALS, muy probablemente debido a una alteración del sitio de acción tal como se detectó en FM9G con pirazosulfurón-etilo (Ortiz et al., 2012). Por otra parte, penoxsulam (TP) no controló a ninguna de las dos las accesiones de *F. littoralis* (Cuadro 3), lo que sugiere tolerancia natural en esta especie a penoxsulam en la dosis y época de aplicación empleada. Sin embargo en Brasil sí se reporta resistencia en esta especie lo que implica que existió selección por el herbicida (Schaedler et al., 2013a). Por otro lado, si hubo un eficaz control de las accesiones R y S de *F. littoralis* con los herbicidas bentazón, bentazón+MCPA, carfentrazona-etilo y 2,4 D-Amina (Cuadro 3).

Dada la resistencia de FM9G a herbicidas de los grupos IMI, PTB, SU, pudiera existir una mutación en la región I dominio F en Asp376 (Whaley et al., 2007) o en la región II dominio B en Trp574 (Scarabel et al., 2010) que debe ser dilucidado en futuros estudios.

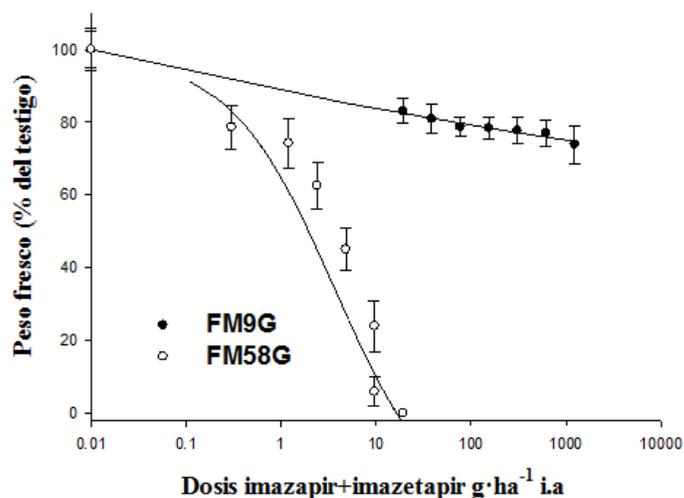
**Cuadro 1.** Características de los herbicidas aplicados para el control de *F. littoralis*

| Marca              | Herbicida            | Formulación            | Concentración                       | Dosis (g·ha <sup>-1</sup> i.a) | Fabricante |
|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------|
| Sirius             | Pirazosulfurón-etilo | Polvo mojable          | 25 g·kg <sup>-1</sup> i.a.          | 25                             | Bayer      |
| Nominee            | Bispiribac-sodio     | Suspensión concentrada | 40 g·L <sup>-1</sup> i.a.           | 40                             | Kumiai     |
| Lightning          | imazapir+imazetapir  | Gránulos dispersables  | 17,5 + 52,5 g·kg <sup>-1</sup> i.a. | 38,5+115,5                     | BASF       |
| Bengala            | Penoxsulam           | Dispersión en aceite   | 25 g·L <sup>-1</sup> i.a.           | 60                             | Dow        |
| Basagram           | Bentazona            | Concentrado soluble    | 480 g·L <sup>-1</sup> i.a.          | 1200                           | BASF       |
| Basagram M60       | Bentazona+MCPA       | Solución acuosa        | 400+60 g·L <sup>-1</sup> i.a.       | 1200+180                       | BASF       |
| Affinity           | Carfentrazona-etilo  | Concentrado soluble    | 400 g·L <sup>-1</sup> i.a.          | 40                             | FMC        |
| 2,4 D-Amina (6 lb) | 2,4 D-Amina          | Concentrado soluble    | 720 g·L <sup>-1</sup> i.a.          | 540                            | INICA      |

**Cuadro 2.** Parámetros de las ecuaciones de regresión utilizadas para estimar la dosis de imazapir+imazetapir requerida para reducir al 50 % ( $ED_{50}$ ) la biomasa de plantas de accesiones de *F. littoralis* susceptibles o resistentes a este herbicida

| Accesión  | Ecuación                                  | Parámetros de regresión |        |       |           |  | $R^2$   | P             | IR |
|-----------|---|-------------------------|--------|-------|-----------|--|---------|---------------|----|
|           |   | a                       | b      | c     | d         | $ED_{50}$<br>(g·ha <sup>-1</sup> i.a.) |         |               |    |
| FM58G (S) | $Y = c + (d - c) / [1 + (x / ED_{50})^b]$ | -0,79                   | -29,98 | 98,73 | 0,91+2,73 | 0,80                                   | P≤0,001 | -             |    |
| FM9G      | $Y = a + b^x$                             | 78,82                   | -0,004 |       | > 308+924 | 0,55                                   | P≤0,001 | No calculable |    |

Y: peso fresco expresados como porcentaje sobre del testigo sin herbicida,  $x$  es la variable independiente (dosis de imazapir+imazetapir); a (intercepto), b (pendiente), c (mínimo) y d (máximo) son parámetros de regresión estimados;  $ED_{50}$  es la dosis de herbicida necesaria para reducir el crecimiento al 50% (Streibig et al., 1993); IR es el índice de resistencia ( $ED_{50} R / ED_{50} S$ ).



**Figura 1.** Peso fresco de accesiones de *F. littoralis* como porcentaje del testigo sin herbicida, en respuesta a dosis crecientes de imazapir+imazetapir. Las barras representan el error estándar (n = 10). Los parámetros de las regresiones ajustadas se presentan en el Cuadro 2

Estos resultados sugieren que cuando la resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS es debido a una alteración en la enzima ALS que impide la fijación del herbicida a su sitio de acción, tal como se demostró en la accesión FM9G (Ortiz et al., 2012), no se deben usar herbicidas que compartan el mismo mecanismo de acción ya que puede conllevar a fallas del control de la maleza en cuestión. No obstante, en la implementación de un programa de mitigación de la resistencia de FM9G a pirazosulfurón, bispiribac sodio e imazapir+imazetapir en el cultivo del arroz, se podrían incluir los herbicidas bentazón+MCPA, bentazona, carfentrazona-etilo y 2,4 D-Amina, ya que mostraron un eficaz control del biotipo R (Cuadro 2). La mezcla de tanque de bentazon+cafentrazona-etilo (720 + 40

g·ha<sup>-1</sup> i.a.) (Schaedler et al., 2013a), propanil y triclopir (Noldin et al., 2005) controlan *F. littoralis* resistente a inhibidores de ALS en Brasil, pudiéndose incorporar también estos herbicidas en futuros ensayos de herbicidas para mitigación de la resistencia.

La mitigación puede integrar otras prácticas culturales como la falsa siembra que consiste en humedecer el suelo previo a la siembra del cultivo y luego, cuando emerjan las malezas, aplicar un herbicida no selectivo o eliminarlas mecánicamente con rastra o manualmente. Esto tiene la finalidad de eliminar las malezas resistentes antes de que éstas puedan competir con el cultivo y también evitar que incorporen sus semillas al banco de malezas del suelo (Scarabel et al., 2012).

**Cuadro 3.** Porcentaje de control sobre el testigo sin tratar de dos accesiones de *F. littoralis* en respuesta a diferentes herbicidas

|          | Pirazosulfurón     | Bispiribac | IMI        | Penoxsulam | Bentazona | Bentazona+MCPA | Carfentrazona | 2,4-D    |
|----------|--------------------|------------|------------|------------|-----------|----------------|---------------|----------|
|          | g·ha <sup>-1</sup> |            |            |            |           |                |               |          |
| Accesión | 25                 | 40         | 154        | 60         | 1200      | 1200+150       | 40            | 540      |
| FM9G     | 2,75 b R           | 48,83 b R  | 27,63 b R  | 0,00 T     | 100,00 S  | 100,00 S       | 100,00 S      | 100,00 S |
| FM58G    | 100,00 a S         | 100,00 a S | 100,00 a S | 0,00 T     | 100,00 S  | 100,00 S       | 100,00 S      | 100,00 S |
| CV (%)   | 6,80               | 8,79       | 12,99      | -          | -         | -              | -             | -        |

IMI: imazapir+imazetapir. CV: coeficiente de variación. La letra mayúscula indica la condición de la accesión ante cada herbicida según el nivel de control [R: resistente (control parcial); S: susceptible (100 % control); T: tolerante (0 % control)]. Promedios en columnas con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ )

El éxito ecológico de los biotipos R va a depender de que la mutación que confiere la resistencia a herbicida no afecte la actividad enzimática para que conserve su adaptabilidad al ambiente (Powles y Qin, 2010). La resistencia a inhibidores de ALS por alteración al sitio de acción puede producir disminución de biomasa aérea/raíces y el número de semillas por planta, así como también puede afectar la actividad de la enzima y/o reducir la afinidad por el sustrato. Sin embargo, el impacto de cada alteración del sitio de acción específica debe ser evaluada sobre una base de caso por caso, y no se debe hacer generalizaciones sobre la adaptabilidad de los biotipos R (Vila et al., 2009).

Las mutaciones que confieren resistencia a herbicidas pueden producir efectos pleiotrópicos con consecuencias negativas sobre la aptitud de las plantas, conocimiento que puede combinarse con estrategias de mitigación de la resistencia (Vila et al., 2009). El uso de cultivares más competitivos de arroz también puede considerarse como una estrategia eficaz para la mitigación de los biotipos resistentes a inhibidores de ALS (Schaedler et al., 2013b).

### CONCLUSIONES

Se comprobó que la accesión de *F. littoralis* procedente del estado Guárico que ha evolucionado resistencia a pirazosulfurón-etilo (SU) también presenta resistencia cruzada al herbicida imazapir+imazetapir (IMI) y bispiribac-sodio (PTB), por lo tanto no se deben usar herbicidas que compartan este mismo mecanismo de acción para controlar la accesión resistente FM9G.

Ambas accesiones R y S de *F. littoralis* fueron controladas eficazmente con los herbicidas bentazón, bentazón+MCPA, carfentrazone-etilo y 2,4 D-Amina, por los cuales la rotación con estos herbicidas podrían usarse en los programas de mitigación de la resistencia.

Las accesiones R y S no fueron controladas eficazmente con penoxsulam.

Las resistencias observadas reflejan el intenso uso de herbicidas inhibidores de la ALS e indican que la tecnología Clearfield en Venezuela corre el riesgo de ser poco eficaz para malezas diferentes al arroz-maleza a menos que se desarrolle un paquete de manejo integrado que retarde la evolución de resistencia.

### AGRADECIMIENTO

Al Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) por el financiamiento del proyecto N° FTG-0608-RG-Arroz: “Impacto de la adopción del arroz resistente a las imidazolinonas en sistemas productivos contrastantes en América Latina” y al Consejo de Desarrollo Científico y humanístico de la Universidad Central de Venezuela por el aporte del proyecto UCV-Sociedad: Manejo integrado de malezas en arroz (MIMA).

### LITERATURA CITADA

1. BASF. 2014a. Break Thru. [http://www.BASF.com.pe/sac/web/peru/es\\_es/agro/productos/](http://www.BASF.com.pe/sac/web/peru/es_es/agro/productos/) (consulta del 02/06/2014).
2. BASF. 2014b. Clearfield. Disponible: <http://www.agro.BASF.com.ar/clearfield/clearfield.htm> (consulta del 15/04/2014).

3. FEDEAGRO (Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios). 2016. Estadísticas agropecuarias. Cereales. <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp> (consulta del 15/04/2016)
4. Delouche, J, N. Burgos, D. Gealy, G. Zorrilla y R. Labrada. 2007. Arroces-maleza, origen, biología y control. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 157 p.
5. Devine, M., S. Duke y C. Fedtke. 1993. Physiology of Herbicide Action. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 441 p.
6. Heap, I. 2016. International survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org/summary/species.aspx?WeedID=78> (consulta del 28/02/2016).
7. Ibrahim, D., T. Burke, B. Ripley y C. Osborne. 2009. A molecular phylogeny of the genus *Alloteropsis* (Panicoideae, Poaceae) suggests an evolutionary reversion from C4 to C3 photosynthesis. *Annals of Botany* 103: 127-136.
8. Juraimi A., M. Najib, M. Begum, A. Anuar, M. Azmi y A. Puteh. 2009. Critical period of weed competition in direct seeded rice under saturated and flooded conditions. *Pertanika Journal Tropical Agriculture Science* 32(2): 305-316.
9. Juraimi A., M. Begum, M. Najib y M. Azmi. 2010. Efficacy of herbicides on the control weeds and productivity of direct seeded rice under minimal water conditions. *Plant Protection Quarterly* 25(1): 19-25.
10. Mazur, B. y C. Falco. 1989. The development of herbicide resistant crops. *Annual Review of Plant Biology* 40(1): 441-470.
11. Moody, K. 1989. Weeds reported to occur in rice in South and Southeast Asia. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna. Manila. 80 p.
12. Noldin, J., D. Eberhardt, J. Zunino, F. Rampelotti y J. Vieira. 2005. Monitoring and management of herbicide resistant weeds in paddy rice in Santa Catarina state, southern Brazil. Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas. Varadero, Cuba. pp. 328-337.
13. Ortiz, A., L. Villarreal, S. Torres, M. Osuna, L. López, R. Figueroa, C. Zambrano, M. Cásares y A. J. Fischer. 2012. Resistencia de *Fimbristylis miliacea* al herbicida pirazosulfurón-etilo en campos de arroz del estado Guárico-Venezuela. *Interciencia* 37(3): 209-214.
14. Ortiz, A., S. Torres, Y. Quintana y A. López. 2015. Primer reporte de resistencia de *Cyperus odoratus* L. al herbicida pirazosulfuron-etilo. *Bioagro* 27(1): 45-50.
15. Powles, S. y Y. Qin. 2010. Evolution in action: plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61: 317-347.
16. Rao, A., D. Johnson, B. Sivaprasad, J. Ladha y A. Mortimer. 2007. Weed management in direct seeded rice. *Advances in Agronomy* 93: 153-255.
17. Scarabel, L., A. Locascio, A. Furini, M. Sattin y S. Varotto. 2010. Characterisation of ALS genes in the polyploid species *Schoenoplectus mucronatus* and implications for resistance management. *Pest Management Science* 66(3): 337-344.
18. Scarabel, L., C. Cenghialta, D. Manuello y M. Sattin. 2012. Monitoring and management of imidazolinone-resistant red rice (*Oryza sativa* L., var. *Sylvatica*) in Clearfield Italian paddy rice. *Agronomy* 2(4):371-383.
19. Whaley, C., H. Wilson y J. Westwood. 2007. A new mutation in plant ALS confers resistance to five classes of ALS-inhibiting herbicides. *Weed Science* 55 (2): 83-90.
20. Schaedler, C., J. Noldin, D. Eberhardt, D. Agostinetto y N. Burgos. 2013a. Globe fringerush (*Fimbristylis miliacea*) cross resistance to ALS-inhibitor herbicides under field conditions in irrigated rice in the south of Brazil. *Planta Daninha* 31(4): 893-902.
21. Schaedler, C., J. Noldin, D. Agostinetto, T. Dal Magro y L. Fontana. 2013b. Germination and growth of *Fimbristylis miliacea* biotypes resistant and susceptible to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Planta Daninha* 31(3): 687-694.
22. Shaner, D. y S. O'Connor. 1991. The imidazolinone herbicides. . CRC. Boca Raton, Florida. 290 p.
23. Vila-Aiub, M., P. Neve y S. Powles. 2009. Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist* 184: 751-767

24. Watanabe, H., M. Ismail y H. Naikin. 1997.  
Response of 2,4-D resistant biotype of  
*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl. to 2,4-D

dimethylamine and its distribution in the Muda  
Plain, Peninsular Malaysia. *Journal of Weed  
Science and Technology* 42(3): 240-249.